

УДК 51-73

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ В ТРЕХМЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

© 2011 г.

Е.К. Харик, А.В. Астанин

Томский госуниверситет

kharik@sibmail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Проведено моделирование вентиляции горной выработки угольной шахты в трехмерной постановке с учетом и без учета влияния обрушенных пород. В физико-математической постановке задачи использовались законы сохранения, применяемые в теории фильтрации газов и жидкостей. Задача решена численно методом Годунова. Обрушенные породы моделировались пористой средой.

Ключевые слова: численное моделирование, угольная шахта, вентиляция, пористая среда, метан, выработанное пространство.

Введение

Каменный уголь является одним из основных энергоресурсов России. На его долю приходится около трети выработки электроэнергии и тепла. Широко распространенный способ добычи угля – добыча в угольной шахте. Большую часть всех аварийных ситуаций, возникающих в шахтах, составляют взрывы метана. Основным источником этого газа являются выработанные пространства, которые образуются в ходе добычи угля. Они представляют собой пористую среду, плохо поддающуюся проветриванию. Образующаяся при взрыве ударная волна вытесняет огромное количество метана из выработанных пространств, что может привести к повторным, более мощным взрывам. Для повышения безопасности горнорабочих необходимо знать способы эффективного удаления метана из обрушенных пространств угольных шахт.

Физико-математическая постановка задачи

Рассматривалось течение, возникающее в результате выхода метана из горной выработки. Расчетная область представляла собой выработанное пространство п-образной формы (рис. 1). Движение газа показано на рисунке стрелками (вход и выход). На входе в расчетную область задавалось повышенное давление, на выходе – мягкие граничные условия. На остальных границах ставились условия непроницаемости. Для решения задачи использовались интегральные законы сохранения массы, импульса и энергии, применяемые в теории фильтрации газов и жидкостей [1, 2] с

учетом пористости ϵ и массовых сил \mathbf{g} :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \epsilon d\Omega &= - \int_S \rho \epsilon (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS, \\ \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \epsilon \mathbf{u} d\Omega &= - \int_S \rho \epsilon \mathbf{u} (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS + \\ &+ \int_S p \text{grad} \epsilon dS + \int_{\Omega} \mathbf{F}_c d\Omega + \int_{\Omega} \epsilon \rho \mathbf{g} d\Omega, \\ \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \epsilon (e + 0.5 |\mathbf{u}|^2) d\Omega &+ \\ &+ \int_S \rho \epsilon (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) \left(e + \frac{p}{\rho} + 0.5 |\mathbf{u}|^2 \right) dS = - \int_{\Omega} \epsilon \rho \mathbf{g} \mathbf{u} d\Omega, \end{aligned}$$

где e – удельная (приходящаяся на единицу массы) внутренняя энергия, $e = p/[(\gamma - 1)\rho]$.

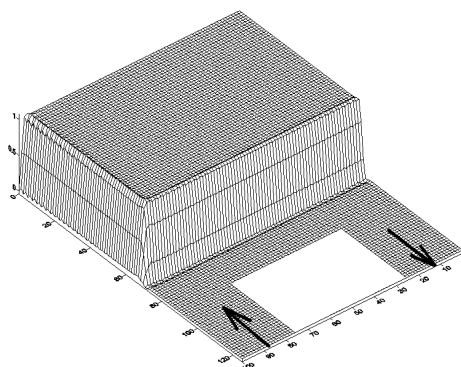


Рис. 1

Уравнение сохранения массы метана запишется в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho_m \epsilon d\Omega + \int_S \rho_m \epsilon (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS = 0.$$

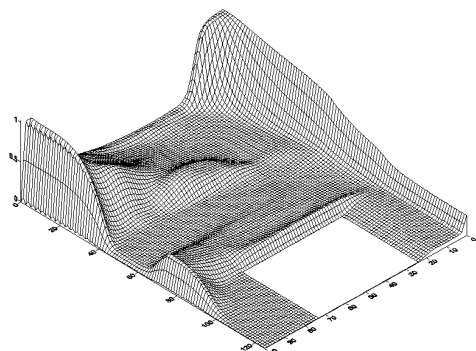
Задача решалась численно методом Годунова [3]. Сила сопротивления пористой среды учитывается по формуле Эргуна [4]:

$$F_c = - \left(\frac{150\eta u(1-\varepsilon)^2}{d^2 \varepsilon^3} + \frac{1.75\rho u^2(1-\varepsilon)}{d\varepsilon^3} \right).$$

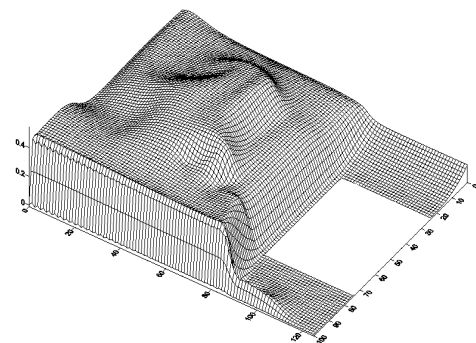
Результаты расчетов

Проводилось сравнение характера вытеснения метана из горной выработки угольной шахты с обрушенными породами и без их учета в трехмерной постановке. На рис. 1 показано начальное распределение метана в области.

На рис. 2а показано распределение метана в горной выработке без учета обрушенных пород после вытеснения 80% метана, на рис. 2б – распределение метана в горной выработке с учетом обрушенных пород после вытеснения 80% метана. Из рисунков видно, что в горной выработке с завалом концентрация метана падает по всей области равномерно, в то время как в горной выработке без завала метан выдувается из центра.



а)

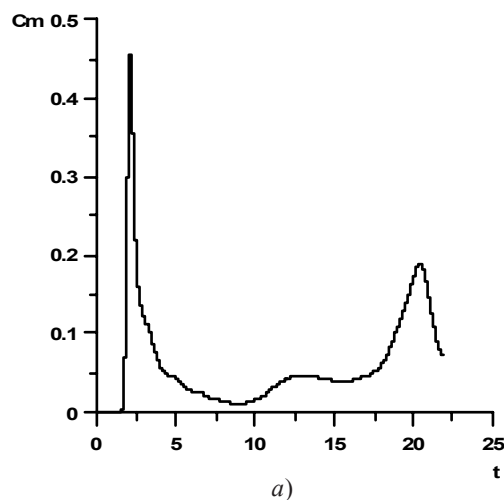


б)

Рис. 2

На рис. 3а, б показаны зависимости от времени расхода метана в вентиляционном канале горной выработки без учета обрушенных пород и с их учетом соответственно. По оси абсцисс от-

кладывалось время в секундах, по оси ординат – концентрация метана в смеси, исходящей из вентиляционного канала.



а)

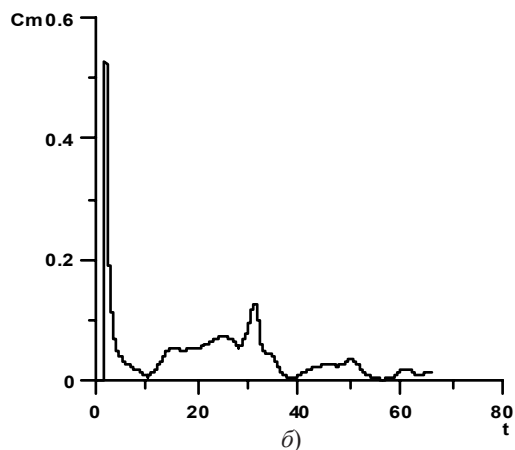


Рис. 3

При выходе метана из горной выработки наблюдается сначала пик концентрации метана в вентиляционном канале. В области с обрушенными породами он выше, чем в области без обрушенных пород.

Проводилось также математическое моделирование особенностей вытеснения метана из выработанного пространства угольной шахты в зависимости от места положения скважины, пробуренной с поверхности земли к выработке.

Список литературы

1. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. М.: Наука, 1978. 336 с.
2. Николаевский В.Н. и др. Механика насыщенных сред. М.: Недра, 1970. 334 с.
3. Годунов С.К. и др. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. 400 с.
4. Справочник по теплообменникам. М.: Энергоатомиздат, 1987. Т. 1. С. 152–154.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE VENTILATION OF A DISUSED MINE AREA IN A 3D FORMULATION*E.K. Kharik, A.V. Astanin*

The ventilation of a disused coal mine area with and without caved materials is numerically modeled in 3D formulation. Conservative laws used in a filtering theory of gas and liquid employed for formulating the problem. Godunov's numerical method is used to analyse the problem. Caved materials are modeled as a porous medium.

Keywords: numerical modeling, coal mine, ventilation, porous medium, methane, disused area.